

Ville-Pekka Karvonen

Siirtoseinien ääneneristävyyden parantaminen

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Rakennussuunnittelu

Tekijä: Ville-Pekka Karvonen

Työn nimi: Siirtoseinien ääneneristävyyden parantaminen

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2020 Sivumäärä: 52 Liitteiden lukumäärä: 26

Opinnäytetyön aiheena oli testata Kurikan Interiööri Oy:n siirtoseinärakenteiden ääneneristävyyttä Seinäjoen ammattikorkeakoulun tiloissa. Tavoitteena oli tutkia parhaimmat ratkaisut ääneneristävyyden kannalta detaljirakenteissa sekä todentaa niiden merkittävyys kokonaisessa rakenteessa kokonaisuuden kannalta. Opinnäytetyö antoi tuloksia myös rakenteiden heikkouksista ja vahvuuksista ääneneristävyyden kannalta sekä herätti lisäkysymyksiä jatkokehityksen kannalta.

Testattavia rakenteita olivat kisko, tiivistepalkki, perussauma sekä teleskooppirakenne, joista tehtiin kaiken kaikkiaan 25 mittausta. Mittauksilla löydettiin ääneneristävyydeltään parhaiten toimivat rakenteet sekä todennettiin niiden merkittävyttä kokonaisessa siirtoseinärakenteessa. Mittaukset on toteutettu noudattaen standardia SFS EN ISO 16283-1:2014 ja tulokset raportoitiin noudattaen standardia SFS EN ISO 717-a1:2013.

Avainsanat: ääneneristys, seinät, mittaus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Structural Design

Author: Ville-Pekka Karvonen

Title of thesis: Improving sound insulation of movable walls

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2020 Number of pages: 52 Number of appendices: 26

The goal of the thesis was to test the sound insulation of movable walls produced by Kurikan Interiööri Oy. The tests were carried out in laboratory facilities of Seinäjoki University of Applied Sciences. The goal was to find the best solutions in sound insulation for detail structures and to verify the significance of the improvements as a whole. The thesis also gave results in the pros and cons of the detail structures in sound insulation and raised questions about further development.

The sound insulation measurements of the detail structures contained 25 measurements and the tested structures were the rail, the sealing beam, the basic joint and the telescopic structure. The best solutions for the tested structures were discovered and the significance of the sound insulation structures provided were verified. The measurements were implemented according to SFS EN ISO 16283-1:2014 standard and reports were made according to SFS EN ISO 717-1:2013 standard.

Keywords: sound insulation, walls, measurement

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
1 JOHDANTO	7
1 ÄÄNITEKNIIKAN KÄSITTEITÄ	8
1.1 Ääni ja ilmaääni.....	8
1.2 Taajuus ja resonanssi	9
1.3 Runkoääni ja koinssidenssi-ilmiö	10
1.4 Absorption ja ääneneristuksen erottaminen	11
1.5 Jälkikaiunta-aika.....	12
2 LABORATORIOMITTAUSTEN MENETELMISTÄ.....	13
2.1 Laboratoriomittaukset.....	13
2.2 Ilmaääneneristysluku	14
2.3 Kenttämittaus	16
2.4 Laboratorio- ja kenttäkokeiden erot.....	18
2.5 Intensiteettimenetelmä	19
2.6 Ultraäänimittaus	20
2.7 Akustinen kamera ja äänikuvaus.....	20
3 SIIRTOSEINÄ ÄÄNENERISTÄVYYSTESTAUKSESSA	21
4 MITTAUSTEN SUORITTAMINEN	24
4.1 Siirtoseinien ääneneristuksen tutkiminen	24
4.2 Ääneneristävyyden mittauslaitteisto	24
4.3 Mittausperiaatteet.....	25
4.4 Mittausolosuhteet ja niiden vaikutus.....	25
5 SIIRTOSEINÄDETALJIEN MITTAUKSET	27
5.1 Yläkiskojen mittaukset.....	27
5.2 Tiivistepalkkien mittaukset.....	28

5.3 Elementin perussauman mittaukset	28
5.4 Teleskoopin mittaukset.....	28
5.5 Yhteenveto tuloksista	28
6 POHDINTA.....	29
LÄHTEET	30

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuvio 1. Ääniaalto koinsidienssitilanteessa. (RIL 243-1-2007, 73.).....	11
Kuvio 2. Ilmaääneneristävyyden mittaus laboratoriossa painemenetelmällä.	14
Kuvio 3. ISO 717-1 esittämä taajuusjakauman vertailukäyrä.	15
Kuvio 4. Puuvälioventiläilmaääneneristävyyden kenttä- ja laboratoriotulokset käyränä (RIL 243-1-2007, 65.)	17

Käytetyt termit ja lyhenteet

Diffuusi äänikenttä Huoneen kaikissa pisteissä vallitsee sama äänenpaineen-taso. Tämä toteutuu vain, jos huone on kovapintainen ja kuutiomainen.

Akustinen kamera Kannettava reaaliajassa toimiva kamera, joka mittaa ää-nenpainetta ja sen eroja, joka visualisoi värillisellä kuvalla äänen kuvatulla alueella.

Maksimiääneneristävyys

Laboratorio-oloissa korkein luotettavasti saavutettava ää-neneristävyyden arvo.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena oli Kurikan Interiöörin siirtoseinärakenteiden ääneneristävyyden tutkimista ja tarkemmin vielä ääneneristävyyden tarkastelua detaljirakenteissa. Interiööri on aiemmin testannut siirtoseinän rakennetta Seinäjoen ammattikorkeakoulun tiloissa, mutta tällä kertaa siirrytään tutkimaan siirtoseinän heikoimpien rakenneosien ääneneristävyyden parantamista. Tutkimusten aikana selvitettiin eri rakenteiden heikkouksia ja vahvuuksia, rakenteellisia parannuksia sekä kuinka suuri merkitys eri rakenteellisilla ratkaisuilla on kokonaisääneneristävyyteen. Tutkittavia siirtoseinädetaljeja oli kisko-, palkki-, perussauma- sekä teleskooppirakenne, joille kaikille tehtiin useita vertailevia testejä, mittauksia oli yhteensä 25. Testit tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun Frami H -rakennuksen vieressä olevassa ääneneristävyydestestejä varten suunnitellussa merikontissa. Kurikan Interiööri teki myös toisen opinnäytetyön tämän työn yhteydessä taiteoville.

1 ÄÄNITEKNIIKAN KÄSITTEITÄ

1.1 Ääni ja ilmaääni

Ääni on erilaisissa kimmoisissa väliaineissa kulkevaa aaltoliikettä, jonka ihminen havaitsee kuuloelinten kautta tajunnassa ääniaistimuksena. Äänikentäksi kutsutaan tilaa, jossa ääni-ilmiö esiintyy. (Siikanen 2014, 136.)

Äänilähde, kuten esimerkiksi ihmisen äänihuulet tai kaiutin, saavat aikaan ilmassa paine-eroja tihentyminä ja harventumina, minkä takia äänihiukkasten liike aiheuttaa seuraavien hiukkasten liikkeen. Yksinkertaisuudessaan siis ääni etenee pitkitäisaaltoliikkeenä ilmanpaineen vaihteluina staattiseen ilmanpaineeseen nähden. (RIL 243-1-2007, 35).

Äänen on mahdotonta edetä ilman väliainetta. **Ilmaääneksi** kutsutaan ääntä, jonka väliaineena toimii ilma. Ilmaääntä syntyy mm. ihmisen puheesta, musiikista, talotekniikasta tai erilaisista koneista ja laitteista. Ääni etenee ilmassa samalla nopeudella riippumatta äänen taajuudesta, mutta ilman lämpötilalla T [°C] on vaikutusta ilmaäänien välinopeuteen c [m/s] seuraavan kaavan 1 mukaisesti (RIL 243-1-2007, 35):

$$C = 331 + 0,6t \quad (1)$$

missä

t on lämpötila [°C]

C on välinopeus [m/s]

Normaalissa sisätilojen lämpötilassa äänen nopeus on noin 340-345 m/s. Äänen taajuudella, ilmaäänien pitkittäisaallon aallonpituudella sekä nopeudella on kaavan 2 mukainen yhteys toisiinsa (RIL 243-1-2007, 36):

$$F = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

missä

c on äänen nopeus

λ on ilmaäänen pitkittäisaallon aallonpituus.

1.2 Taajuus ja resonanssi

Ihminen pystyy havaitsemaan äänen taajuuden (f) kuuloaistimuksena. **Taajuus** on riippuvainen väliaineen hiukkasten värähtelyn nopeudesta eli ilman hiukkasten edestakaisten liikkeiden lukumäärästä sekuntiin. Taajuuden yksikkönä on 1/sekunti eli hertsi (Hz). Ihmisen kuuloaistimuksen kautta nopea värähtely ilmassa saa korvan rumpukalvon värähtelemään ja ääni havaitaan korkeana äänenä, kun taas hitaasti värähtelevä ääni koetaan matalana äänenä. Äänialuetta, jonka ylimmän ja alimman äänentaajuuden suhde on kaksi, kutsutaan oktaaviksi. (Siikanen 2014, 137-138).

Äänen taajuus f [Hz] lasketaan värähtelyjen määrä n jaettuna ajalla T [s], minkä aikana värähtelyt tapahtuivat (RIL 243-1-2007, 35):

$$f = \frac{n}{T} \quad (3)$$

missä

n on värähtelyjen määrä

T on aikajakso

Taajuus kuvaa siis äänen väliaineen hiukkasten värähdysten määrää sekunnissa. Ihminen pystyy havaitsemaan kuuloaistimuksen avulla noin 20 - 20 000 Hz:n taajuusalueella olevia ääniä. Infraääniksi kutsutaan alle 20 Hz:n taajuisia ääniä, jotka ihminen havaitsee tärinänä ja ultraääniksi kutsutaan yli 20 000 Hz:n taajuusalueella olevia ääniä. (RIL 243-1-2007, 35).

Rakennuksessa huonetiloja erottavat seinät, lattiat ja muut rakenteet eristävät ilma-ääntä heikosti, jos näiden rakenteiden ja äänen värähtelyt ovat **resonanssissa** ja näin vahvistavat toisiaan. Rakennusten osilla on omat ominaistaajuuudet eli resonanssitaajuuudet. Nämä resonanssitaajuuudet eivät saa olla yleisellä noin 125-3000 Hz:n taajuusalueella. (Siikanen 2014, 140).

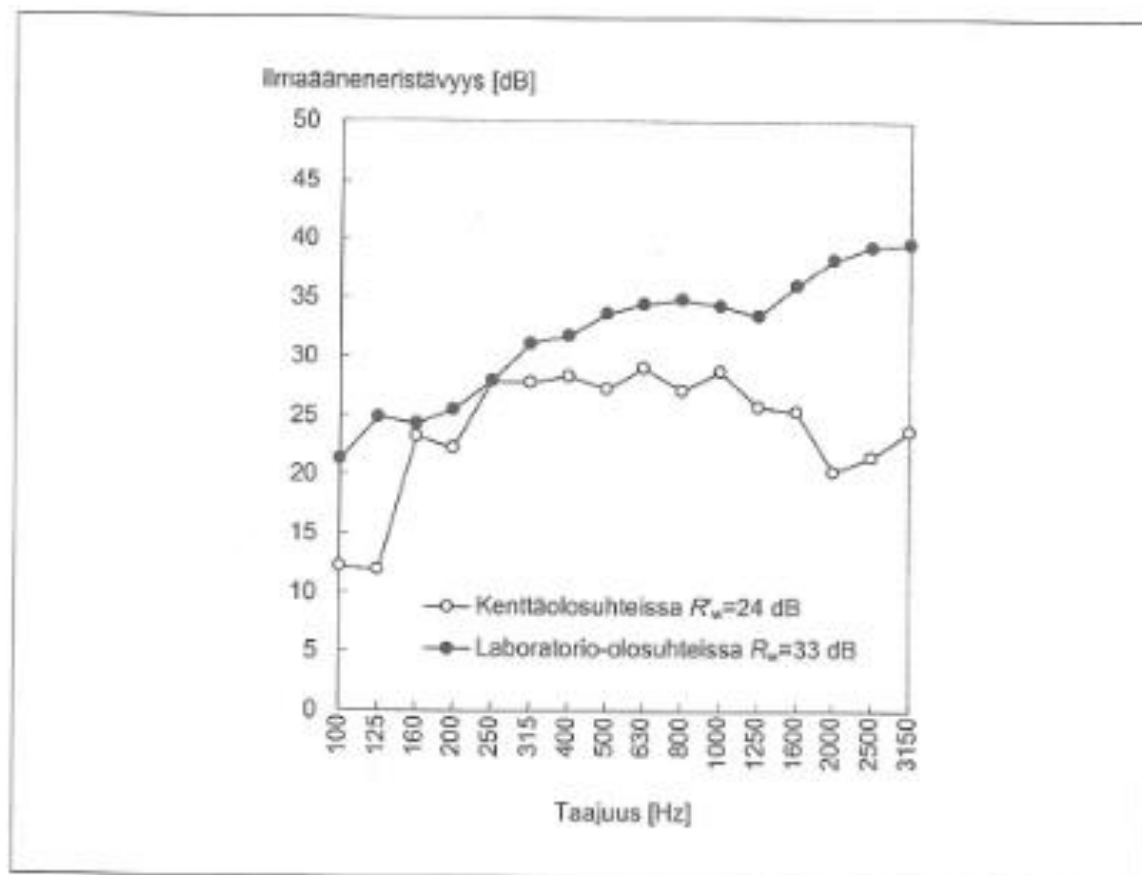
1.3 Runkoääni ja koinssidenssi-ilmiö

Rakennuksen seinä- tai lattiarakenteissa kulkevat värähtelyt säteilevät huonetilaan ilmaääntä kohdatessaan tilaa rajoittavan pinnan. Tätä kutsutaan **runkoääneksi** ja se pystyy etenemään kiinteissä aineissa. Kitkan takia runkoääni muuttuu lämmöksi ja hajaantuu suurelle alueelle näin äänitasoa alentaen. (Siikanen 2014, 161).

Runkoääni voi edetä pitkiäkin matkoja heikentäen rakennuksen rakenteiden ääneneristävyyttä. Runkoäänen etenemistä voidaan kuitenkin estää joko runkoäänen lähteen läheltä, häirityn tilan kohdalta tai runkoäänen kulkureitin varrelta (Siikanen 2014, 161).

Kun ilmassa ja levyssä kulkevan äänenaaltojen vaiheet ovat samat, tapahtuu **koinssidenssi-ilmiö**, jolloin ääneneristävyys heikkenee, kun rakenne ei juurikaan estä aallon etenemistä (kuvio 1). Kun koinssidenssia tapahtuu tiettyä taajuutta korkeammilla taajuuksilla, tätä rajataajuutta kutsutaan koinssidenssin rajataajuudeksi. Tässä rajataajuudessa äänen tulokulma on 90 astetta, jolloin ääni tulee levyn pintaan sen pinnan suuntaisesti. Koinssidenssi ilmenee äärettömän suurella taajuudella, kun taajuus kasvaa. Ääneneristävyyden käyrässä näkyy kuoppa koinssidenssin takia ja tätä kuoppaa kutsutaan koinssidenssi-kuopaksi. Ääneneristävyys paranee rajataajuuden yläpuolella tasaisesti taajuuden kasvaessa koinssidenssi-ilmiön heiketessä. Rakennuksissa huoneessa ääntä saapuu kaikista suunnista, jolloin koinssidenssia

ilmenee kaikilla rajataajuutta korkeammilla taajuuksilla. (RIL-243-1-2007,72).



Kuvio 1. Ääniaalto koinssienssitilanteessa. (RIL 243-1-2007, 73.)

1.4 Absorption ja ääneneristysten erottaminen

Monesti kun puhutaan äänen **absorptiosta** ja **ääneneristävydestä**, ne sekoitetaan toisiinsa. Absorptio on huoneen pintarakenteiden ominaisuus, joka vaimentaa huoneen sisällä syntyvää ääntä, kun taas ääneneristävyys tarkoittaa, miten paljon äänen kulkeutuminen huoneesta toiseen estyy. Eristävyys vaatii rakenteiden erityistä tiiviyyttä. (RIL-243-1-2007, 46).

Neljä perustapausta absorptiosta ja eristävydestä:

- A Kiviaineksisella massiiviseinällä ja kovapintaisella seinällä absorptiosuhde on alhainen, mutta suuren massan takia sen eristävyys voi olla korkea, jopa 70 dB.
- B Levyrakenteinen seinä, jonka ilmarakenteessa on absorboivaa materiaalia. Tilanne on samankaltainen kuten A kohdassa, absorptio on pieni, koska ääni kohtaa ensimmäisenä huonosti absorboivan levyn, mutta se vähentää kaiuntaa ilmatilassa. Levyrakenne absorboi vähän ääntä matalilla taajuuksilla.
- C Seinä, jonka pinnalla on absorboivaa materiaalia voi saavuttaa sekä korkean eristävyyden, että absorptiosuhteen.
- D Pelkkä absorptiomateriaali saavuttaa todella hyvän absorptiosuhteen, mutta ääneneristävyys on huono, koska se päästää äänen läpi helposti huokostensa läpi. Ilmiötä esiintyy mm. paksuissa verhoissa sekä kankaisissa paljeovissa. (RIL-243-1-2007, 48).

1.5 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-ajaksi T [s], kutsutaan sitä aikaa, jolloin äänilähteen sammuttamisesta tilan äänenpainetaso on laskenut 60 dB. Olemassa olevien tilojen jälkikaiunta-aika pystytään mittaamaan voimakkaalla äänilähteellä siten, että äänilähde sammutetaan äkillisesti ja lasketaan, kuinka kauan aikaa kuluu äänenpainetason laskemiseen 60 dB:llä. Standardi ISO 354 esittää tarkasti jälkikaiunta-ajan mittaustavan. (RIL-243-1-2007, 50).

Jos huoneen äänikenttä on diffuusi, jälkikaiunta-ajalla, tilavuudella V [m³] ja absorptioalalla on Sabinen kaavan mukaan yhteys (RIL-243-1-2007, 50):

$$T = 0,16 \times \left(\frac{V}{A}\right) \quad (6)$$

missä

V on tilavuus

A on absorptioala.

2 LABORATORIOMITTAUSTEN MENETELMISTÄ

2.1 Laboratoriomittaukset

Laboratoriomittauksilla pystytään luotettavasti määrittämään rakenteen tai rakenneosan ilmaääneneristävyys. Tilojen väliin sijoitetaan rakenne esimerkiksi kuvion 2. mukaisesti kahden huoneen väliin tai välipohjaa tutkiessa huoneet ovat päällekkäin. Jos tutkittava näyte on aukkoa pienempi, aukko kavennetaan rakenteellisesti ja ääneneristyksellisesti erityiset vaatimukset täyttävällä täyteseinärakenteella. (RIL-243-1-2007, 58).

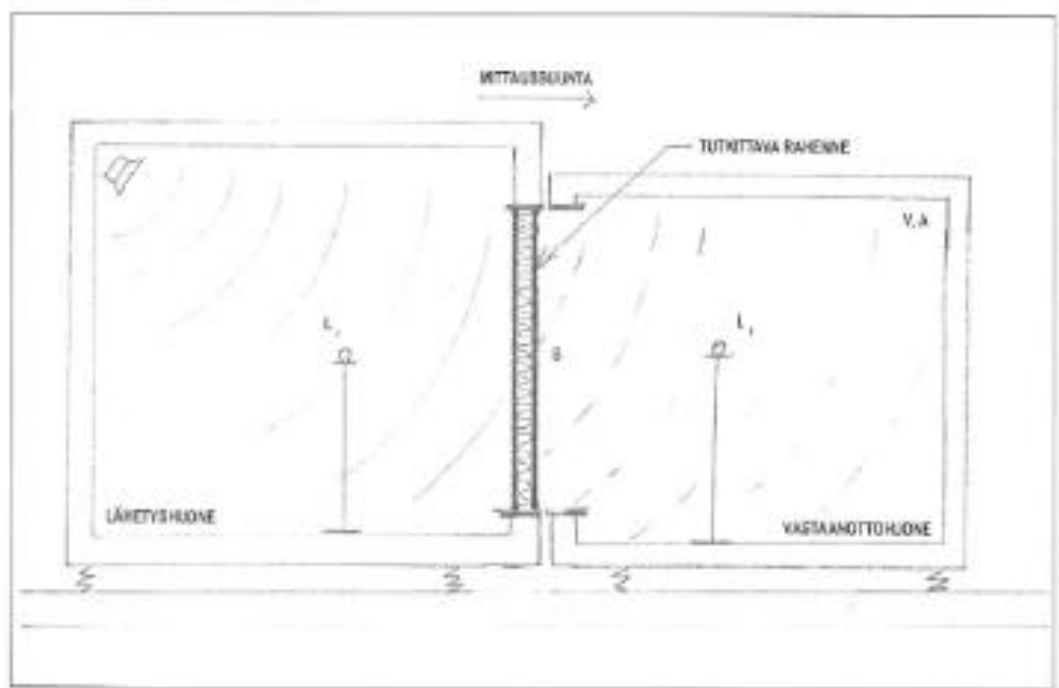
Laboratoriomittauksessa pyritään tutkimaan laboratoriossa tuotetun äänen läpäisevyyttä rakenteen kautta lähetyshuoneesta vastaanottohuoneeseen. Tämän tarkia todellisissa rakennuksissa on mahdollista saavuttaa laboratoriotasoisia tuloksia vain, jos todellisissa rakennuksissa ääni ei pysty kulkemaan rungon kautta, muiden sivutiesiirtymien kautta tai suoraan rakenteen läpi äänenvuotokohdista. Tämä vaatii rakenteiden hyvän tiiviyn, runkoäänen katkaisun sekä sivutiesiirtymien äänen kulkeutumisen minimoimisen. Normaalisti rakennusosan ilmaääneneristävyys R [dB] määritetään laboratorio-olosuhteissa ISO140-3 äänenpainetason mittauksiin perustuvalla menetelmällä seuraavasti (RIL-243-1-2007, 58):

$$R = L_{p,1} - L_{p,2} + 10 \log 10 \frac{S}{A_2} \quad (7)$$

$$A_2 = 0,16 \frac{V_2}{T_2} \quad (8)$$

$L_{p,1}$ on lähetyshuoneen äänenpainetaso [dB], $L_{p,2}$ on vastaanottohuoneen äänenpainetaso [dB] ja S on tiloja erottavan rakenneosan pinta-ala [m²]. A_2 on vastaanottohuoneen absorptio-ala [m²-Sab], joka voidaan laskea alemman kaavan (8) mukaan, kun huoneen jälkikaiunta-aika T_2 [s] ja tilavuus V_2 [m³] tunnetaan. Erityistä huomiota on syytä kiinnittää siihen, että kaikki akustiset suureet määritetään useiden mittauspisteiden keskiarvoina tai logaritmisina keskiarvoina. (RIL-243-1-2007, 59).

Ääneneristävyyden testauksessa laboratorio-olosuhteissa tulee jossain vaiheessa vastaan raja, jonka jälkeen rakenteen ääneneristävyys nousee niin korkeaksi, ettei mittauksen tuloksiin voida täydellä varmuudella luottaa. ”Jokaisessa laboratoriossa on ns. maksimiääneneristävyys, jota korkeampia ääneneristävyyden arvoja ei voida enää luotettavasti mitata. Jos näytteen ääneneristävyys on suurempi kuin maksimiääneneristävyys, voidaan tuloksena esittää vain alalikiarvo näytteen todellisesta arvosta.” (RIL-243-1-2007, 59.)



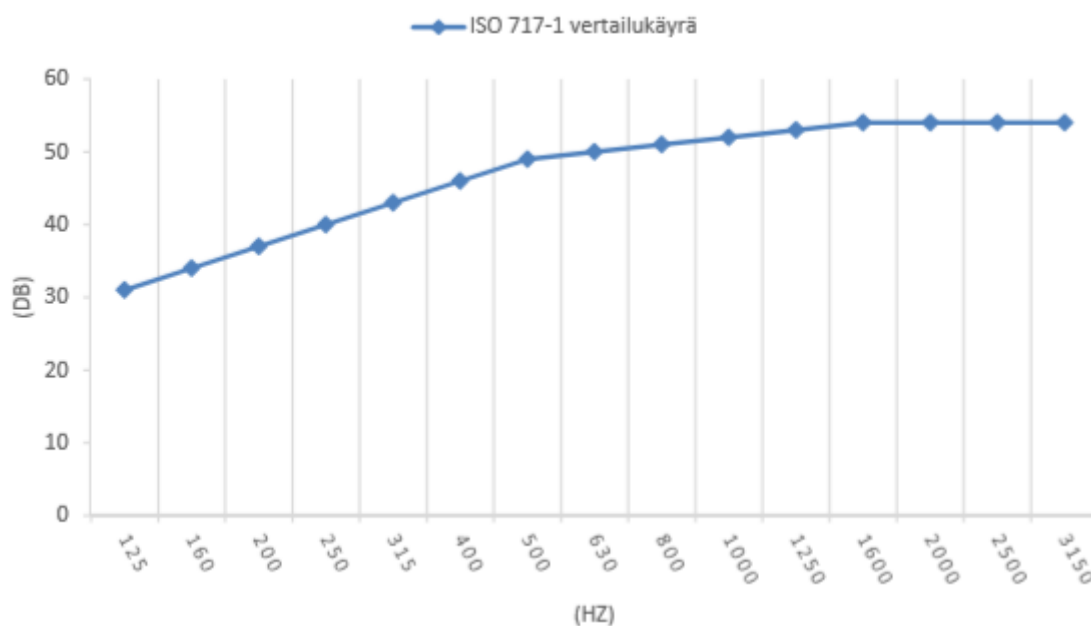
Kuvio 2. Ilmaääneneristävyyden mittaus laboratoriossa painemenetelmällä.

2.2 Ilmaääneneristysluku

Ilmaääneneristävyys on riippuvainen taajuudesta. Ilmaääneneristävyyden tulos esitetään vähintään taajuuksille 100-3150 Hz, mutta mieluiten se esitettäisiin taajuuksilla 50-5000 Hz. Pienemmällä taajuusalueella saadaan 16 kolmasosaoktaavikaistan mittausarvoa ja suuremmalla taajuusalueella saadaan 21 kolmasosaoktaavikaistan mittausarvoa. Tällaisena esitettynä ilmaääneneristysarvoja on vaikea lukea ja hyödyntää, minkä takia on kehitetty ISO 717-1 [42] mukainen ilmaääneneristys-

luku R_W . Merkinnällä R'_W merkitään kenttämittausolosuhteissa toteutetun mittauksen ilmaääneneristyslukua. Rakentamismääräykset ja suositukset esitetään R'_W :n arvolla. (ISO-243-1-2007, 59).

Ilmaääneneristysluku ei ole eri taajuuksilta saatujen ilmaääneneristävyys arvojen suora keskiarvo, vaan painotettu keskiarvo. Tämä on esitetty ISO 717-1 (Kuvio 3.) mukaisessa vertailukäyrässä, joka huomioi keskiarvon painotukseen normaalin puheäänien taajuusjakauman ja korvan herkkyyden erilaisille äänen taajuuksille. Tällä periaatteella ilmaääneneristysluku kertoo, kuinka hyvin rakenne eristää puheääntä huoneistojen välillä, mutta se myös huomioi korvan herkkyyden erilaisilla äänen taajuuksilla, mikä perustuu A-painotukseen. Näin ollen parhaimman ääneneristävyys arvo aikaansaamiseksi rakenteen tulee eristää korkeita ääniä paremmin kuin matalia äänentaajuuksia. Pienten elementtien yksikköääneneristysluku $D_{n,e,w}$ pystytään määrittämään samalla menetelmällä. (ISO-243-1-2007, 60).



Kuvio 3. ISO 717-1 esittämä taajuusjakauman vertailukäyrä.

Ilmaääneneristysluku voidaan myös laskea oktaavikaistoittain määritetyistä ilmaääneneristysluvuista. Näitä ääneneristyslukuja verrataan taulukon vertailukäyrään, jota siirretään 1 dB portain sellaiseen korkeusasemaan, jolloin ilmaääneneristävyys arvo ei-toivottujen poikkeamien summa käyrästä arvoihin on maksimissaan 10 dB.

Ei-toivottu poikkeama tarkoittaa sitä, kun testattavan rakenteen ilmaääneneristävyyden on pienempi kuin käyrästön antama arvo kyseiselle oktaavikaistalle. Kun vertailukäyrä on saatu nostettua mahdollisimman korkealle täyttämällä aiemmin mainitun ei-toivottujen poikkeaman summan vaatimuksen, voidaan ilmaääneneristysluku R_w lukea vertailukäyrältä 500 Hz:n kohdalta. Tämä kolmasosaoktaavikaistoittain mitattu ilmaääneneristysluku on Suomen rakentamismääräyksien mukainen mittaustapa. (ISO-243-1-2007, 60).

2.3 Kenttämittaus

Ilmaääneneristävyydestä käytetään merkintää R laboratorio-oloissa mitatulle ilmaääneneristävyydelle tai R' kenttämittauksena mitatulle ilmaääneneristävyydelle. Molemmissa käytetään samoja suureita ja laskentakaavoja, pilkulla halutaan tehdä ero näiden kahden välille. (RIL-243-1-2007, 63).

Äänellä on lukuisia erilaisia reittejä, joita pitkin se etenee huonetilasta toiseen, ei pelkästään suoraan rakenteen läpi. Määräykset ja suositukset huonetilojen välisistä ilmaääneneristävyyksistä annetaankin ilmaääneneristyslukuna R'_w . Kenttämittauksia tehdään juuri valmistuneiden tilojen välisten rakenteiden ääneneristävyyden tarkastamiseksi ja vaatimusten täyttämisen varmistamiseksi esimerkiksi uuden rakennuksen vastaanoton yhteydessä tai käyttäjävalitusten vuoksi. Uudenlaiset rakenneratkaisut ja niiden ääneneristyksellinen toiminta tutkitaan kenttämittauksella. (RIL-243-1-2007, 63-64).

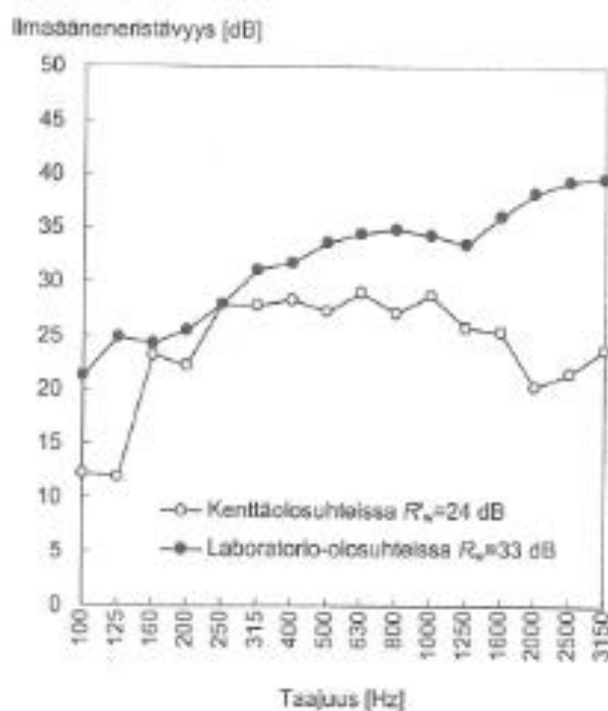
Suomen rakentamismääräyskokoelmassa osa C ja suositusarvot SFS 5907 standardissa antavat määrätyt arvot ilmaääneneristysluvulle R'_w . Nämä arvot koskevat huonetilojen ilmaääneneristyslukuja eikä vain yksittäisiä rakennusosia. Laskettaessa ilmaääneneristävyyttä pinta-alana S käytetään tilojen pinta-alaa, joka on yhteinen molemmille tiloille. (RIL-243-1-2007, 64).

Vaikka ääneneristävyyden mittauksilla saadaan huonetilojen välinen ääneneristävyyden selville, se ei kerro mitä kautta ääni kulkeutuu huonetilasta toiseen. Äänellä on lukuisia eri tapoja kulkeutua huoneesta toiseen, kuten erilaisia LVI-putkistoja pitkin

tai suoraan rakenteen läpi äänivuotojen kohdilta, jotka voivat johtua asennus- tai tuotevirheistä. (RIL-243-1-2007, 64).

Laboratorio- ja kenttämittauksilla ääneneristävyyden arvojen ero voi olla pienimmillään jopa 1 dB, jos rakenteet ovat tiiviitä eikä sivutiesiirtymiä ole tai ne on minimoitu. Monesti kuitenkin puhutaan, että laboratorio- ja kenttämittauksen ääneneristävyyden arvojen ero on noin 3-6 dB laboratoriomittauksen ollessa parempi, mutta tätä yleistystä ei voi käyttää. Rakenteessa olevat vuotokohdat voivat heikentää tulosta pahimmillaan jopa yli 20 dB sekä huonosti suunnitellut sivuavat rakenteet voivat heikentää kenttämittauksen tulosta 5-10 dB. (RIL-243-1-2007, 65).

Esimerkkinä kuviossa 4. olevalle ovelle tehdään laboratoriomittaus ja sen jälkeen todellisessa rakennuksessa kenttämittaus ääneneristävyydelle, tätä esimerkkiä ei voi suoraan yleistää, mutta antaa hyvän kuvan oven asennuksen vaikutuksesta mitaustulokseen. (RIL-243-1-2007, 65).



Kuvio 4. Puuvälioven ilmaääneneristävyyden kenttä- ja laboratoriotulokset käyränä (RIL 243-1-2007, 65.)

Rakenteen osan eristävyys ei kuitenkaan laske, kun siirrytään kenttäolosuhteisiin, jos komponentti asennetaan kuten laboratorio-olosuhteissa. Kuitenkin rakennusmääräyskokoelma koskee kaikkia äänen kulkeutumisreittejä kokonaisuutena ääneneristävyyden kannalta. (RIL-243-1-2007, 65).

Joskus tiloja ei erota mikään yhteinen rakenne, esimerkiksi niitä voi erottaa erillinen tila, jolloin kaikki ääni, mitä mitataan, on sivutiesiirtymien aiheuttamia. (RIL-243-1-2007, 65).

2.4 Laboratorio- ja kenttäkokeiden erot

Ääneneristävyyden laboratorioarvo merkitään R_w ja kenttäoloissa saatu ääneneristävyys merkitään R'_w . Rakenteissa voi olla täysin arvaamattomia äänen kulkeutumisreittejä, kuten suorat äänivuodot mm. asennusvirheiden takia tai sivutiesiirtyminä esimerkiksi tilojen välistä rakennetta ei ole katkaistu tai ääni kulkee LVIAS-reittejä pitkin. Laboratoriossa kaikki muut äänen kulkemisreitit kuin suoraan halutun tutkittavan rakenteen läpi menevät äänet poistetaan tai minimoidaan, jolloin voidaan suurella varmuudella sanoa, paljonko on kyseisen tutkittavan rakenteen ääneneristävyys. (RIL-243-1-2007, 66).

Yleensä pyritään laboratorio- ja kenttämittauksen ääneneristävyyksille erotukseksi saamaan alle 3 dB ($R_w - R'_w < 3\text{dB}$), minkä takia halutaan pitää sivutiesiirtymät mahdollisimman pieninä. Oikeissa rakennuksissa tämä ero on paljon suurempi erityisesti betonirakenteisissa asuinhuoneistoissa, joissa ääneneristävyyden taso on korkea ja sivutiesiirtymiä tapahtuu helposti. (RIL-243-1-2007, 66).

Asennusympäristö vaikuttaa erityisesti laboratorio- ja kenttämittaustulokseen, mutta mitoituksen kannalta tavoiteltavana olisi vain 3-5 dB:n ero mittaustulosten välillä, koska suoraan väliseinän läpi kulkeutuvien ja sivutietä pitkin tulevien äänten äänitehot ovat suurin piirtein yhtä suuret. Suuremmasta erosta tulosten välillä voidaan todeta hallitsemattomat sivutiesiirtymät. Tässä tapauksessa huoneistoja erottavan rakenteen ääneneristävyyden parantaminen ei ole kannattavaa, vaan sivutiesiirtymän ääneneristäminen on toimivin ratkaisu. Äänen vuotaminen suoraan rakenteen

läpi tai muut tavat suoraan ilman kautta huoneistosta huoneistoon ovat todennäköisimmät selitykset suurille eroille. (RIL-243-1-2007, 66-67).

2.5 Intensiiteettimenetelmä

Äänenpainetason mittaaminen akustisissa mittauksissa toteutetaan yleensä yhdellä mikrofonilla. Tällä mittausmenetelmällä saadaan vain yhdessä pisteessä mittaus-huonetta selville äänenpaine, mutta ei saada selville äänen tulosuuntaa. Sen mittaamiseen on erikseen kehitelty intensiiteettimenetelmä. (RIL-243-1-2007, 67).

”Intensiiteettiä voidaan mitata ns. kaksimikrofonianturilla, joita on ollut kaupallisesti saatavana 1980-luvun alusta alkaen. Anturi koostuu kahdesta lähekkäisestä vaihesovitetusta mikrofonista, joiden äänenpainesignaaleista intensiiteetti voidaan laskea. Intensiiteettimenetelmä on standardisoitu 1990-luvulla ja sitä sovelletaan erikoistapauksissa.” (RIL-243-1-2007, 67).

Intensiiteettimenetelmällä on monia hyviä puolia, joita voidaan hyödyntää mittauksissa niin kenttä- kuin laboratorio-olosuhteissa. Intensiiteettimenetelmä on hyvä tapa tutkia ja paikantaa äänenvuotokohtia ja -säteilykohtia tutkittavasta rakenteesta. Menetelmä on myös erittäin tarkka matalien taajuuksien (50-160 Hz) ääneneristävyyden mittaukseen painemenetelmän suureen mittaepätarkkuuteen verrattuna. Myös tietyn rakenneosan ilmaääneneristävyyden määrittäminen onnistuu kenttäolosuhteissa ($R_{l,w}$ irrotettuna muista rakenteista, jolloin voidaan arvioida eri pintojen osuus huoneeseen tulevasta äänestä.) sekä sivutiesiirtymää aiheuttava pinta huoneistosta pystytään määrittämään. (RIL-243-1-2007, 67).

Intensiiteettimenetelmä pystyy muodostamaan äänisäteilykuvan rakenteelle, millä pystytään havaitsemaan helposti rakenteessa heikosti ääntä eristävät kohdat. (RIL-243-1-2007, 67).

2.6 Ultraäänimittaus

Ultraääneksi kutsutaan ääntä, jonka taajuus on 20 kHz- n. 10 THz. Ultraääni on ihmiskorvan kuuloalueen yläpuolella, joten ihminen ei pysty kuulemaan sitä. Normaali ääni ja ultraääni etenevät samalla nopeudella väliaineessa, jos vain taajuus ei ole liian suuri. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2018, 158.)

”Ultraäänen vuotopaikanninta käytetään yleensä paikantamaan vuoto-paikkoja painekattiloista ja ilmastointikanavista. Koska laite mittaa ultraäänellä, sen käyttö on mahdollista meluisissakin tiloissa, kuten tehdashalleissa. Ultraäänen tuottaminen ja mittaaminen perustuvat piezosähköiseen ilmiöön.” (USER INSTRUCTIONS FOR THE FLEX.US ULTRASOUND DETECTOR, [Viitattu 2.12.2019].)

Ultraäänellä mittaava vuotopaikannin on kuulonvarainen äänenvuotojen paikannus-tapa. Rakenteen toiselle puolelle sijoitetaan ultraäänilähetin ja toiselta puolelta siirrettävällä mikrofonilla voidaan tutkia esimerkiksi rakenteen saumakohdista, paljonko ääntä pääsee läpi hyvin saumattuun kohtaan tai perusrakenteeseen verrattuna. Laite muuttaa ultraäänen kuulokkeisiin kuultavaksi ja äänen lujuus kertoo, paljonko ultraääntä pääsee läpi.

2.7 Akustinen kamera ja äänikuvaus

Normaalilla äänenpaineen mittauksella saadaan selville ääneneristävyyttä, mutta ongelmatilanteissa ratkaisu ääneneristävyyden korjaukseen on tulosten tulkinnan ja kuuntelun varassa. Akustinen kamera on kannettava reaaliajassa toimiva kamera, joka näyttää värikarttana, mistä ääntä tulee eniten kuvatulla alueella. Ääneneristävyyden ongelmakohdat paikannetaan sijoittamalla rakenteen toiselle puolelle laaja-kaistaista kohinaa aiheuttava äänilähde, minkä jälkeen kameralla saadaan toiselta puolelta reaaliajassa lämpökuvan tapainen kuva, jossa väreillä osoitetaan, mistä kohtaa rakennetta tulee eniten ääntä läpi. (Saksela & Nyberg 2015.)

3 SIIRTOSEINÄ ÄÄNENERISTÄVYYSTESTAUKSESSA

Monissa rakennuksissa halutaan tarvittaessa suuria tiloja, mikä pystytään järjestämään siirtoseinien avulla muuttamalla kahdesta tai useammasta tilasta yksi suuri tila siirtämällä tilojen väliset seinät sivuun esimerkiksi yhdeksi suureksi opetustilaksi oppilaitoksissa. Muunlaisia kohteita missä siirtoseiniä hyödynnetään ovat esimerkiksi kongressikeskukset, kokoustilat tai erilaiset monitoimitalit. (RIL-243-1-2007, 95).

Siirtoseinät yleensä ovat 600-1200 mm levyisiä ja niiden tulee täyttää muutamia vaatimuksia. Tärkeimmiksi vaatimuksiksi tulevat siirtoseinän ääneneristävyys ja tiiviys. Siirtoseinäelementit kammetaan asemaansa kiristäen ja tiivistäen elementtien saumat ja liittymisen pysyvään seinärakenteeseen tiiviiksi. Toinen tärkeä ominaisuus on siirtoseinän siirrettävyys. Purettaessa seinärakenne elementit siirretään toiseen päähän seinärakennetta kannattelevan kiskon päähän varastoon, ja tämä on pystyttävä tekemään helposti ihmisvoimin. Siirtoseinän liikuteltavuuden takia sen liittyvät rakenteet ovat ääneneristävyyden kannalta kriittisiä, varsinkin, jos sivuavat saumarakenteet eivät ole suoria, jolloin tiiviyttä on vaikea saavuttaa. (RIL-243-1-2007, 95-96).

Siirtoseinillä on samanlaisia ongelmia ääneneristävydessä kuin ovilla ja järjestelmäväliseinillä. Laboratorioarvo ääneneristävyydelle R_w pystytään lähes saavuttamaan siirtoseinärakenteelle vain, jos sivuavat rakenteet eivät päästä ääntä läpi ja siirtoseinät on tiiviisti asennettu. (RIL-243-1-2007, 96).

Siirtoseinän rakenteen ääneneristävyys pystytään mitoittamaan jopa yli 50 dB:lle, mutta käytännössä kenttämittauksen tuloksissa ääneneristävyys R'_w jää kuitenkin yleensä alle 40 dB:n tasoon, mikä ei yleensä johdu itse siirtoseinän rakenteesta, vaan kaikista muista liittyvistä rakenteista. Pahimmat ongelmakohdat siirtoseinän ääneneristävydessä on esimerkiksi seuraavanlaisia (RIL-243-1-2007, 96):

- siirtoseinän yläkiskojärjestelmä vuotaa ääntä
- saumat vuotavat ääntä, koska elementit eivät tiivisty toisiaan vasten riittävän hyvin
- sivuavia levyrakenteita pitkin kantautuu ääniä

- siirtoseinää varten rakennetut kehyskotelot eristävät ääntä heikosti
- huoneiden välillä on äänenvaimentamaton ilmanvaihtokanava
- siirtoseinässä on ovi, jonka ääneneristävyydelle ei ole vaatimuksia
- lattia ja seinäpinnat ovat epätasaisia, jolloin siirtoseinän tiivisteet eivät painu niitä vasten tarkoituksenmukaisesti.

Sivuavat seinärakenteet ja ilmanvaihtojärjestelmät voivat aiheuttaa sivutiesiirtymiä varsinkin silloin, kun siirtoseinä on jälkikäteen rakennettu esimerkiksi tilaajan toiveesta tilan käytön monipuolistamiseksi, eikä tällöin ole ääneneristävyysvaatimuksia tilojen välillä. (RIL 243-1-2007, 96).

Jos halutaan vähintään kenttämittauksen R'_w 40 dB ääneneristävyys-tasoa, tulee ottaa seuraavat asiat huomioon rakenteen toteutuksessa. (RIL 243-1-2007, 96):

- suunnittelussa on aikaisessa vaiheessa otettu huomioon siirtoseinät, jolloin sivuavien rakenteiden ja muiden asennusten ääneneristävyysratkaisut voidaan ottaa huomioon arkkitehtipiirustuksiin
- kohteeseen valitaan sellaiset siirtoseinätyypit, jotka on luotettavasti testattu laboratorio-olosuhteissa normaali tiivistetyillä rakenteilla ja näin saatu standardin ISO 140-3 täyttävät laboratoriotulokset
- erilaiset levyrakenteet ja kotelot siirtoseinärakenteen ympärillä tehdään ääneneristykseltään riittäväksi ja tiiviiksi
- siirtoseinän kohdalta katkaistaan lattianpäällysteet, seinien levyrakenteet ja muut huoneistosta toiseen suoraan menevät lattiarakenteet
- siirtoseinään ei asenneta ovea ollenkaan vaan kulku suunnitellaan muitten tilojen kautta. Jos kuitenkin ovi tahdotaan asentaa, sen tulee olla ääneneristävyydeltään yhtä hyvä kuin itse siirtoseinä
- tilasta toiseen ei kulje suoraan ilmanvaihtokanavien läpivientejä sekä kanavassa on äänenvaimennin, läpivientien kohdalla tulee myös huomioida hyvä tiiviys
- siirtoseinien tiivisteet tulee huoltaa ja tarkastaa tietyin väliajoin

Valmiisiin kohteisiin, joihin asennetaan jälkeinpäin siirtoseinä ei ole helppo saavuttaa hyvää ääneneristävyyttä, koska aiemmin mainitut kohdat tulisi täyttyä eikä niihin voida vaikuttaa kovin helposti. (RIL 243-1-2007, 97).

Myös huoneakustiikka on otettava suunnittelussa huomioon, koska tilan akustiikka muuttuu huomattavasti siirtoseinän avauksen jälkeen. Huoneakustiikka tulisi suunnitella siten, että akustiikka toimii siirtoseinästä huolimatta ja yleensä tämä tarkoittaa akustiselta suunnittelulta sitä, että akustiikka on toimiva, kun seinä on avoinna. Jos tilan mitat ylittävät 15 metriä on yleensä otettava sähköinen äänentoisto käyttöön. (RIL 243-1-2007, 97).

Erikoistapauksiakin on. Niissä joudutaan harkitsemaan kahden peräkkäisen siirtoseinän rakentamista huonetilojen väliin (RIL 243-1-2007, 97).

4 MITTAUSTEN SUORITTAMINEN

4.1 Siirtoseinien ääneneristysten tutkiminen

Aiemmissa tutkimuksissa Kurikan Interiööri oli kehitellyt sopivaa siirtoseinän seinärakennetta, joten seinän kannalta ääneneristävyyden parantamista voidaan jatkaa tutkimalla seuraavia merkittäviä äänivuotojen syitä eli liitoskohtia. Periaatteena mittauksille oli aina yhden siirtoseinän detaljin testaus kerrallaan erilaisilla materiaali- valinnoilla sekä rakenteellisilla-, listoitus- tai sauman tiivistysratkaisuilla. Testattavia detaljeja olivat:

- yläkisko, kaksi erilaista mallia
- tiivistepalkki, rakenne- ja materiaaliratkaisujen testaus
- elementin perussauma
- teleskooppirakenteen mittaus, erilaisten rakenteellisten ratkaisujen testaus.

Detaljeja testattiin harkkoseinässä, jonka ääneneristävyys oli 70 dB:ä, mihin asennettiin tuplarunkoinen seinärakenne, jonka ääneneristävyys oli 54 dB. Seinärakenteen rungot oli eristetty ääneneristävällä elastisella massalla toisistaan poistaen mahdollisuuden, että huoneistojen välinen seinä olisi ääneneristävyyden kannalta ns. heikoin lenkki, jolloin saadaan selkeä tulos detaljin äänivuotokohdista, ääneneristävyydestä sekä niiden muutoksista testauksen aikana.

4.2 Ääneneristävyyden mittauslaitteisto

Ääneneristävyyksmittauksissa käytettiin 01dB-Stell- ja Harmonie-laitteistoja, mikrofoni kalibroitiin Norsonic Cal 0,1 ja äänivuotokohtien paikantamiseen Flex.us-vuotopaikanninta. Mikrofonin kalibroitiin 94 dB:iin. Testejä varten oli mittaushuoneiden lattiaan merkitty paikat mikrofoniin ja äänilähteen asemille jokaista testiä varten. Ne merkittiin huomioiden EN ISO 140-4:n antamat vaatimukset, kuten vaatimukset taustamelun ja lähetetyn äänitaajuusskaalan suhteen sekä vaatimukset äänilähteen ja mikrofoniin sijoittamisesta testaustiloihin.

4.3 Mittausperiaatteet

SFS EN ISO 16283-1:2014 (2014):n mukainen testaus toteutetaan 1/3-oktaavikais-toittain. Äänen, jota tuotetaan lähetyshuoneessa, tulee kattaa tarvittavat äänitaajuudet taajuusalueelta 100-5000 Hz sekä lähetetyn äänen tulee olla vakaa. Vastaanottohuoneeseen tuleva ääni tulee olla vähintään 10 dB suurempi kuin taustamelu.

SFS EN ISO 16283-1:2014 (2014):n mukaan äänilähteen ja mikrofonin välinen etäisyys ei saa koskaan olla alle 1,0 metriä sekä kumpikaan ei saa olla 0,5 metriä lähempänä testaustilojen seinää. Äänilähteen korkeusasema tulee olla 1,2 metrin korkeudessa testaustilan lattiasta. Äänilähteellä tulee olla kaksi tai useampi eri asemaa testeissä, joiden etäisyys tulee olla yli 0,7 metriä. Kuitenkin joidenkin kahden aseman välinen etäisyys pitää olla yli 1,4 metriä.

Ääneneristävyyksmittauksissa voidaan käyttää joko yhtä mikrofonia, jota siirrellään asemasta toiseen testin edetessä, tietyille paikoille sijoitettua mikrofoniryhmää, jatkuvasti liikkuvaa mikrofonia tai värähtelevää mikrofonia. Eri asemista saaduista äänenpainetasoista otetaan keskiarvo lopullisen ääneneristävyyksluvun määrittämiseksi. Mikrofoniasemia tulee olla vähintään viisi. Mikrofoniasemilla on sama korkeusasema 1,2 metriä kuin äänilähteelläkin, mutta toisin kuin äänilähteellä, mikrofoniasemien välinen etäisyys pitää olla vähintään 0,7 metriä. Kuitenkin joidenkin kahden aseman välinen etäisyys tulee olla 1,0 metriä tai enemmän.

Näihin vaatimuksiin päästiin lähetetyn äänen ja äänilähteen osalta helposti testaustilan lähetyshuoneen suuren koon ansiosta, mutta vastaanottohuoneen pieni koko aiheutti sen, että mikrofoniasemat tulevat lähemmäksi kuin SFS EN ISO 16283-1:2014 (2014) sallisi olevan.

4.4 Mittausolosuhteet ja niiden vaikutus

Ääneneristävyyksmittaukset suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun Frami H -laboratoriorakennuksen vieressä merikonttiin rakennetuissa testaustiloissa. Alueella taustamelu oli tavanomaisesti noin 12-18 dB, mutta raskas liikenne ja laboratorion ilmastointi- ja muut laitteet monesti aiheuttivat piikkejä taustamelussa, jolloin pyrittiin

välttämään testien suorittamista tai minimoimme ylimääräisen taustamelun määrän sammuttamalla melua aiheuttava laitteisto.

Aiempien ääneneristävyystilojen käyttäjien kokemusten perusteella oltiin havaittu huoneen lämpötilalla ja ilmankosteudella olevan merkitystä mittaustuloksiin, minkä takia tavoitteeksi otimme, että saimme suoritettua jokaisen testin lähes samanlaisissa olosuhteissa. Ääneneristävyysmittaukset tehtiin helmi-huhtikuun aikaan, jolloin pakkasta oli ulkona pahimmillaan yli $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tämän takia mittaustiloja aloitettiin lämmittämään vähintään vuorokautta ennen testien aloitusta säteilylämmittimillä, jolloin huoneet saatiin haluttuun testilämpötilaan noin $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$:een. Ilman suhteellinen kosteus pyrittiin pitämään 40 %:ssa. Tiloihin siirryttäessä ennen testin alkua piti välttää ylimääräisen lumen kulkeutumista tiloihin, jottei ilmankosteus nousisi liikaa sekä antaa huoneen lämmitä muutaman minuutin ajan tavoitelämpötilaan, sillä ovien avaus laski pienten tilojen lämpötilaa erittäin nopeasti useilla asteilla.

5 SIIRTOSEINÄDETALJIEN MITTAUKSET

Testien kokonaisääneneristävyys, ääneneristävyys taajuuden mukaan, testitilojen tiedot sekä käytetty mittauslaitteisto ja ilmaääneneristävyyden määritykset löytyvät liitteistä jokaisesta mittauksesta. Alla on tarkemmin läpikäytynä mittauksiin liittyvät yksityiskohdat. Testit kohdistuvat pienille pinta-aloille, jolloin tuloksia on tulkittava tarkkaan, kuinka merkittäviä ääneneristävyyden erot ovat oikeassa siirtoseinärakenteessa. Esim. isossa siirtoseinässä ääneneristävyys heikkenee merkittävästi korkeilla taajuuksilla johtuen äänivuodosta ja vuotoaluetta on paljon, on merkittävämpi ääneneristävyyden kannalta kuin esim. pinta-alaltaan pieni reunapuu, jossa matalat äänet pääset läpi. Alla esitetyt ilmaääneneristävyyden mittausraportit ja niiden tulos on toteutettu SFS EN ISO 717-1:2013 (2013) mukaisesti:

Tämä osio sisältää yrityssalaisuudeksi luokiteltavaa materiaalia, joten sitä ei julkaista.

5.1 Yläkiskojen mittaukset

Kiskon mittauksissa on käytetty 54 dB:n ääneneristävä seinärakennetta, joka toteutettiin kahdella toisistaan erillään olevilla runkorakenteilla, jotka olivat runkoäänieristetty toisistaan ääntä eristävällä massalla. Ilmatila oli 80 mm eristetty eristevillalla ja molemmille puolille tuli 12 mm MDF-levy ulkopintaan ja sisäpintaan 12 mm tuulensuojalevy, joiden välissä oli noin 6 mm paksu eristematto. Nämä rakenteet kiilattiin sivuille ruuvattavilla tukipuilla, joiden alle asennettiin myös eristemattoa.

Alun testeissä testattiin 54 dB:n ääneneristävään seinärakenteeseen asennettu ensimmäinen kisko. Aluksi asennettiin yksinkertainen peitelevy ja sen jälkeen testattiin kaksinkertaisella peitelevyllä. Kisko kiilattiin yläpuolella olevaa ääneneristävää mattoa vasten ja reunat tiivistettiin akryylimassalla. Kiskon alapuolellakin oli kiilattu eristemattoa. Jokaisella seinän uudelleen asennuskerralla vuotopaikantimella tarkistettiin äänivuodot ja tiivistämällä korjattiin varmistaen kaikkiin testeihin, että testi kertoo testattavan kiskon ääneneristävyyden heikkoudet. Muissa testeissä käytettiin tätä rakennetta tai valmista siirtoseinäelementin runkoa.

Tämä osio sisältää yrityssalaisuudeksi luokiteltavaa materiaalia, joten sitä ei julkaista,

5.2 Tiivistepalkkien mittaukset

Tämä osio sisältää yrityssalaisuudeksi luokiteltavaa materiaalia, joten sitä ei julkaista.

5.3 Elementin perussauman mittaukset

Tämä osio sisältää yrityssalaisuudeksi luokiteltavaa materiaalia, joten sitä ei julkaista.

5.4 Teleskoopin mittaukset

Tämä osio sisältää yrityssalaisuudeksi luokiteltavaa materiaalia, joten sitä ei julkaista.

5.5 Yhteenveto tuloksista

Testit kohdistuivat pienelle pinta-alalle, jolloin testeissä pieneltä tuntuva muutaman desibelin ero ääneneristävyyksissä voi suuremmalla siirtoseinärakenteella vaikuttaa merkittävästi, riippuen tietenkin kyseessä olevasta detaljista. Tällöin merkittävimmät erot ääneneristävyyksissä ja olennaisimmat rakenteet tapauskohtaisesti ovat ensimmäisenä listalla, missä pitää kiinnittää huomiota, kun tavoitellaan suurempia ääneneristävyyksiä.

Tämä osio sisältää yrityssalaisuudeksi luokiteltavaa materiaalia, joten sitä ei julkaista.

6 POHDINTA

Monen testin jälkeen havaittiin toimivimmat ratkaisut ja eri vahvuudet siirtoseinän eri detaljeilla. Testien tarkemmalla tarkastelulla pystyttiin myös selvittämään rakenteiden paremmuusjärjestys tarkastelemalla kokonaisääneneristävyyksiä sekä taaajuuden mukaisia ääneneristävyyksiä. Kokonaisen rakenteen testauksella eri parannuksilla olisi saanut vielä nähtyä ääneneristävyyden parantumisen kokonaisuudessaan. Testeissä käytetyt eri seinärakenteet herättivät myös kysymyksiä itse siirtoseinärakenteen parannuksille ja antoi ajatusta jatkotutkimuksille. Testit olivat suuntaa antavia, mutta tuloksista pystyy selkeimmin toteamaan rakenteen äänivuodot sen korkean ääneneristävyyden laskiessa sekä rakenteellisen heikkouden matalien äänien ääneneristävyyden heiketessä. Testeissä kuitenkin saatiin hyvin selville detaljirakenteiden yleiset vuotokohdat sekä ratkaisut äänivuotojen minimoimiseksi.

Tulevaisuuden tuotekehittelyn kannalta ajatukseksi nousi itse seinärakenteen rakenteelliset parantelut. Aiemmissa testeissä on löydetty tuotannon ja käytännön kannalta hyvä perusrakenne seinärakenteeksi. Suuressa osassa testeistä huomattiin ääneneristävyydessä matalien äänien eristävyyden olevan heikoin lenkki rakenteessa. Lähtökohtana näille parannuksille voisivat olla rakenteelliset muutokset rungossa sekä koolaus-villatilan koon muutoksilla, muistaen kuitenkin rakenteen käytännöllisyyden rakennuksessa sekä valmistuksessa.

LÄHTEET

- Peltonen, H., Perkiö, J. & Vierinen, K. 2018 Insinöörin (AMK) Fysiikka osa II. 9. painos. Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy.
- RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Saksela, K. & Nyberg, J. 2015. Akustinen kamera ilmaäänieristävyysongelmien selvittämisessä. [Verkojulkaisu]. Helsinki: Akustinen seura ry. [Viitattu 15.1.2020]. Saatavana: http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2015/09/AP2015_Paperin_palautus_48.pdf
- SFS-EN ISO 16283-1: en. 2014. Acoustics: Field measurement of sound insulation in buildings of building elements. Part 1: airborne sound insulation (ISO 16283-1:2014). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN 717-1: en 2013. Acoustics: Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: airborne sound insulation (ISO 717-1:2013). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- USER INSTRUCTIONS FOR FLEX.US ULTRASOUND DETECTOR. Ei päiväystä. [Verkojulkaisu]. SDT ultrasound solutions. [Viitattu 15.1.2020]. Saatavana: <https://sdtultrasound.com/10-flex-us>

LIITTEET

Liite 0. Kurikan Interiöörin siirtoseinien ääneneristävyyden mittauksiin seinärakenteen ääneneristävyys

Liite 1. Kiskon testaus

Liite 2. Kiskon testaus

Liite 3. Kiskon testaus

Liite 4. Kiskon testaus

Liite 5. Rakennepalkin ääneneristävyys tiivistepalkkien mittausta varten

Liite 6. Tiivistepalkki

Liite 7. Tiivistepalkki

Liite 8. Tiivistepalkki

Liite 9. Tiivistepalkki

Liite 10. Tiivistepalkki

Liite 11. Tiivistepalkki

Liite 12. Tiivistepalkki

Liite 13. Tiivistepalkki

Liite 14. Tiivistepalkki päittäissauma

Liite 15. Rakenne perussauman mittaukseen

Liite 16. Perussauman mittaus

Liite 17. Perussauman mittaus

Liite 18. Perussauman mittaus

Liite 19. Perussauman mittaus

Liite 20. Rakenne teleskoopin mittaamiseen

Liite 21. Teleskooppikotelo

Liite 22. Teleskooppikotelo

Liite 23. Teleskooppikotelo

Liite 24. Teleskooppikotelo

Liite 25. Peruskotelo

Tämä osio sisältää yrityssalaisuudeksi luokiteltavaa materiaalia, joten sitä ei julkaista.